

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 09 400.8

Anmeldetag: 04. März 2003

Anmelder/Inhaber: Infineon Technologies AG,
81669 München/DE

Bezeichnung: Halbleiterbauelement mit erhöhter
Spannungsfestigkeit und/oder verringertem
Einschaltwiderstand

IPC: H 01 L 29/06

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 19. Februar 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Remus

Beschreibung

Halbleiterbauelement mit erhöhter Spannungsfestigkeit
und/oder verringertem Einschaltwiderstand

5

Die vorliegende Erfindung betrifft Halbleiterbauelemente gemäß der Merkmale der Oberbegriffe der Ansprüche 1 und 22, also sowohl sogenannte Kompensationsbauelemente mit einer Driftzone, die benachbart zueinander jeweils komplementär dotierte Halbleiterzonen aufweisen, die sich im Sperrfall gegenseitig ausräumen, als auch Halbleiterbauelemente mit einer Driftzone nur eines Leitungstyps.

10

15

Halbleiterbauelemente mit einer Driftzone, die eine Kompensationsstruktur aufweisen, sind hinlänglich bekannt und beispielsweise in der US 4,753,310 oder US 6,097,063 beschrieben.

20

Maßgeblich für die Eigenschaften der Driftzone im Sperrfall des Bauelements, ist insbesondere der Kompensationsgrad, wie in der DE 198 40 032 C1 ausführlich erläutert ist. Der Kompensationsgrad K ist für n-leitende Bauelemente definiert als

$$K = (N_n - N_p) / N_n \quad (1)$$

25

und für p-leitende Bauelemente definiert als

$$K = (N_p - N_n) / N_p, \quad (2)$$

30

wobei N_n die Anzahl der n-Dotierstoffatome und N_p die Anzahl der p-Dotierstoffatome in einem betrachteten Volumenbereich angibt.

35

Über das gesamte Volumen betrachtet ist dieser Kompensationsgrad vorzugsweise Null, das heißt, die Anzahl der p-Dotierstoffatome entspricht der Anzahl der p-Dotierstoffatome, so dass im Sperrfall jeder freie n-

Ladungsträger einen freien p-Ladungsträger findet, die sich gegenseitig kompensieren, wodurch bei maximaler Sperrspannung keine freien Ladungsträger in der Driftzone mehr vorhanden sind.

5

In der genannten DE 198 40 032 C1 ist vorgeschlagen, diesen Kompensationsgrad entlang einer Stromflussrichtung in der Driftzone zu variieren, um eine hohe Durchbruchfestigkeit und eine hohe Strombelastbarkeit vor bzw. im Durchbruch zu erreichen. Die Dotierung erfolgt dabei derart, dass in einem ersten Bereich der Driftzone, der sich an einen pn-Übergang zwischen einer p-dotierten Halbleiterzone und n-dotierten Bereichen der Driftzone anschließt, p-Ladungsträger überwiegen, wodurch der Kompensationsgrad dort negativ ist, während in einem Bereich nahe einer zweiten Halbleiterzone n-Ladungsträger in der Driftzone überwiegen. In einem dritten Bereich der Driftzone zwischen der ersten und zweiten Halbleiterzone ist der Kompensationsgrad vorzugsweise Null, die dort jeweils benachbart angeordneten komplementär dotierten Halbleiterzonen kompensieren sich im Sperrfall also vollständig.

25

Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, ein Halbleiterbauelement, insbesondere ein Kompensationshalbleiterbauelement, mit einer erhöhten Spannungsfestigkeit und/oder einem verringerten Einschaltwiderstand zur Verfügung zu stellen.

30

Dieses Ziel wird für Kompensationsbauelemente durch ein Halbleiterbauelement gemäß Anspruch 1 und für Nicht-Kompensationsbauelemente durch ein Bauelement gemäß Anspruch 22 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

35

Das erfindungsgemäße Kompensations-Halbleiterbauelement umfasst eine erste Halbleiterzone eines ersten Leitungstyps, eine zweite Halbleiterzone eines zweiten Leitungstyps und eine zwischen der ersten Halbleiterzone und der zweiten Halb-

leiterzone angeordnete Driftzone, die wenigstens eine sich zwischen der ersten Halbleiterzone und der zweiten Halbleiterzone erstreckende dritte Halbleiterzone des zweiten Leitungstyps und wenigstens eine sich an die dritte Halbleiterzone anschließende vierte Halbleiterzone des ersten Leitungstyps aufweist. Die dritte Zone ermöglicht in einer Stromflussrichtung einen Stromfluss zwischen der ersten Halbleiterzone und der zweiten Halbleiterzone, wobei sich die Ladungsträger der dritten und vierten Zone bei einem in Sperrrichtung gepolten Übergang zwischen der ersten Halbleiterzone und der dritten Halbleiterzone gemäß dem Kompensationsprinzip wenigstens teilweise kompensieren.

Das erfindungsgemäße Halbleiterbauelement kann als Diode, MOS-Transistor, Thyristor oder IGBT ausgebildet sein.

Bei einer Diode ist die erste Halbleiterzone beispielsweise p-dotiert und bildet die Anodenzone der Diode, und die zweite Halbleiterzone ist n-dotiert und bildet die Kathodenzone der Diode. In der ebenfalls n-dotierten dritten Halbleiterzone fließt bei in Flussrichtung gepoltem pn-Übergang zwischen der ersten und dritten Halbleiterzone fließt bei einer Diode sowohl ein Elektrodenstrom von der Kathode zu der Anode als auch in entgegengesetzter Richtung ein Löcherstrom von der Anode zu der Kathode. In diesem Zusammenhang bezeichnet "Stromflussrichtung" im folgenden entweder die Flussrichtung des Elektronenstromes oder des Löcherstromes. Das Anlegen einer Spannung, bei der der Halbleiterübergang zwischen der Body-Zone und der dritten Halbleiterzone in Sperrrichtung gepolt ist, führt dazu, dass sich eine Raumladungszone ausbildet, aufgrund der sich die wenigstens eine dritte und die wenigstens eine vierte Halbleiterzone wenigstens teilweise ausräumen.

Bei einem MOS-Transistor bildet die erste Halbleiterzone dessen Body-Zone und ist bei einem n-leitenden Transistor ebenfalls p-dotiert, während die zweite Halbleiterzone dessen

cke einer Isolationsschicht, beispielsweise an den Stellen, an denen die dünne Isolationsschicht der Steuerelektrode in eine dickere Deckisolationsschicht übergeht. Bei dem erfindungsgemäßen Bauelement variiert der Kompensationsgrad vorzugsweise derart, dass er im Bereich der Oberfläche ungleich Null, insbesondere negativ ist, und vertikal zur Stromflussrichtung ansteigt. In einem Innenbereich der Driftzone wird vorzugsweise ein Kompensationsgrad von wenigstens annähernd Null erreicht. Wegen des Kompensationsgrades ungleich Null im Randbereich reduzieren sich im Randbereich bzw. Oberflächenbereich im Sperrfall die elektrischen Feldstärken, während maximale elektrische Feldstärken im vollkompensierten Innenbereich entstehen. Die Reduktion der Feldstärken im Randbereich führt insgesamt zu einer Erhöhung der Spannungsfestigkeit des Bauelements. Betrachtet man die gesamte Driftzone, so entspricht die Menge der Dotierstoffatome des ersten Leitungstyps der Menge der Dotierstoffatome des zweiten Leitungstyps, wodurch sich bei einer maximalen Sperrspannung die freien p- und n-Ladungsträger in der Driftzone gegenseitig vollständig ausräumen.

Es sei darauf hingewiesen, dass stets Abschnitte der Driftzone betrachtet werden müssen, die jeweils wenigstens eine dritte Halbleiterzone und eine benachbarte vierte Halbleiterzone umfassen, um den jeweiligen Wert des Kompensationsgrades zu ermitteln.

Die Erfindung ist nicht auf horizontale Bauelemente beschränkt sondern kann selbstverständlich auch bei vertikalen Bauelementen Anwendung finden.

Die Driftzone mit den dritten und vierten komplementär dotierten Halbleiterzonen kann auf verschiedenste Art und Weise aufgebaut sein.

Bei einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Driftzone mehrere jeweils abwechselnd angeordnete dritte und vierte

Halbleiterzonen aufweist, die sich jeweils schichtartig in Stromflussrichtung erstrecken.

Bei einer weiteren Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Driftzone eine dritte Halbleiterzone aufweist, in der eine Vielzahl säulenförmig ausgebildeter, jeweils beabstandet zueinander angeordnete vierte Halbleiterzonen vorhanden sind, deren Längsrichtung vorzugsweise senkrecht zur Stromflussrichtung verläuft.

Bei einer weiteren Ausführungsform umfasst die Driftzone mehrere übereinander angeordnete Halbleiterschichten, wobei in jeder Halbleiterschicht abwechselnd nebeneinander dritte und vierte Halbleiterzonen angeordnet sind, die sich langgestreckt in Stromflussrichtung erstrecken. Vorzugsweise sind dabei die dritten Halbleiterzonen der einzelnen Schichten übereinander und die vierten Halbleiterzonen der einzelnen Schichten übereinander angeordnet.

Um den Kompensationsgrad senkrecht zur Stromflussrichtung zu variieren besteht die Möglichkeit, die dritte(n) Halbleiterzone(n) jeweils gleich zu dotieren und die Dotierung der vierten Halbleiterzonen in einer Richtung senkrecht zur Stromflussrichtung zu variieren. Bei einem lateralen Halbleiterbauelement, bei dem die Driftzone parallel zur Stromflussrichtung an eine Oberfläche des Halbleiterkörpers angrenzt, ist der Kompensationsgrad im Bereich dieser Oberfläche vorzugsweise negativ (es liegt als eine p-Nettodotierung vor) und steigt mit zunehmendem Abstand von der Oberfläche in Richtung senkrecht zur Stromflussrichtung an. Dies kann bei einer jeweils gleichen Dotierung der dritten Halbleiterzonen dadurch erreicht werden, dass die Dotierung der vierten Halbleiterzonen mit zunehmendem Abstand zu der Oberfläche abnimmt. Diese Variation der Dotierung kann dabei stufenweise erfolgen, indem bei mehreren parallel zur Stromflussrichtung übereinander angeordneten vierten Halbleiterzonen diese Halbleiterzonen in sich jeweils homogen dotiert sind, deren Do-

tierung aber von Schicht zu Schicht in der Richtung senkrecht zur Stromflussrichtung abnimmt.

Entsprechend besteht zur Variation des Kompensationsgrades die Möglichkeit, die vierten Halbleiterzonen jeweils gleich zu dotieren und die Dotierung der dritten Halbleiterzone(n) senkrecht zur Stromflussrichtung zu variieren, wobei bei dem erwähnten lateralen Bauelement mit ausgehend von der Oberfläche ansteigendem Kompensationsgrad die Dotierung der dritten Halbleiterzone(n) ausgehend von der Oberfläche zunimmt. Diese Variation der Dotierung kann dabei stufenweise erfolgen, indem bei mehreren parallel zur Stromflussrichtung übereinander angeordneten dritten Halbleiterzonen diese Halbleiterzonen in sich jeweils homogen dotiert sind, deren Dotierung aber von Schicht zu Schicht in der Richtung senkrecht zur Stromflussrichtung zunimmt. Diese stufenweise Dotierung kann auch dadurch erreicht werden, indem eine dritte Halbleiterschicht schichtweise aufgebaut wird und die einzelnen Schichten unterschiedlich dotiert werden.

Zur Variation des Kompensationsgrades besteht auch die Möglichkeit, sowohl die Dotierung der dritten Halbleiterzonen als auch die Dotierung der vierten Halbleiterzonen senkrecht zur Stromflussrichtung zu variieren.

Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist weiterhin vorgesehen, den Kompensationsgrad in der Driftzone auch in der Stromflussrichtung zu variieren, um dadurch eine hohe Strombelastbarkeit vor bzw. im Durchbruch zu erreichen.

Dies kann dadurch erreicht, werden, dass die Dotierung der dritten und/oder vierten Halbleiterzonen auch entlang der Stromflussrichtung variiert wird.

Bei der erläuterten Ausführungsform, bei der die Driftzone mehrere Halbleiterschichten mit jeweils mehreren abwechselnd nebeneinanderliegend angeordneten dritten und vierten Halb-

leiterzonen aufweist, kann eine Variation des Kompensations-
grades in Stromflussrichtung dadurch erreicht werden, dass
die dritten Halbleiterzonen und die vierten Halbleiterzonen
in Stromflussrichtung in Draufsicht in etwa keilförmig ver-
laufen, wobei sich die vierten Halbleiterzonen ausgehend von
5 der ersten Halbleiterzone in Richtung der zweiten Halbleiter-
zone vorzugsweise verjüngen, während sich die dritten Halb-
leiterzonen entsprechend verbreitern. Durch diese Geometrie
der dritten und vierten Halbleiterzonen kann wenigstens in
10 einem senkrecht zur Stromflussrichtung verlaufenden Abschnitt
angrenzend an die erste Halbleiterzone eine Nettodotierung
des ersten Leitungstyps in der Driftzone eingestellt werden,
und wenigstens in einem senkrecht zur Stromflussrichtung ver-
laufenden Abschnitt angrenzend an die zweite Halbleiterzone
15 kann eine Nettodotierung des zweiten Leitungstyps in der
Driftzone eingestellt werden.

Das weitere erfindungsgemäße Halbleiterbauelement umfasst ei-
ne erste Halbleiterzone eines ersten Leistungstyps, eine
20 zweite Halbleiterzone eines zweiten Leitungstyps, eine zw-
ischen der ersten Halbleiterzone und der zweiten Halbleiterzo-
ne angeordnete Driftzone des zweiten Leitungstyps, die in ei-
ner Stromflussrichtung einen Stromfluss von der ersten Halb-
leiterzone zu der zweiten Halbleiterzone ermöglicht. Zur Ver-
25 ringerung einer Stromdichte in einem parallel zur Stromfluss-
richtung verlaufenden Randbereich und zur gleichmäßigeren
Verteilung des Stromflusses über das zur Verfügung stehende
Volumen der Driftzone ist dabei vorgesehen, dass wenigstens
in einem Abschnitt der Driftzone die Dotierungskonzentration
30 von Dotierstoffatomen des zweiten Leitungstyps in einer Rich-
tung senkrecht zu der Stromflussrichtung variiert und vor-
zugsweise ausgehend von diesem Randbereich zunimmt.

35 Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführ-
ungsbeispielen in Figuren näher erläutert. In den Figuren
zeigt

Figur 1 ein Ausführungsbeispiel eines als Diode ausgebildeten erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes in perspektivischer Darstellung,

5

Figur 2 einen Querschnitt durch das Halbleiterbauelement gemäß Figur 1 in einer Schnittebene A-A,

Figur 3 ein der Figur 2 entsprechender Querschnitt durch ein weiteres Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes,

10

Figur 4 ein als MOS-Transistor ausgebildetes erfindungsgemäßes Halbleiterbauelement in perspektivischer Ansicht,

15

Figur 5 ein weiteres Ausführungsbeispiel eines als MOS-Transistor ausgebildeten erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes in Seitenansicht im Querschnitt (Figur 5A) und einen beispielhaften Verlauf des Kompensationsgrades senkrecht zur Stromflussrichtung (Figur 5B),

20

Figur 6 einen Querschnitt durch das in Figur 5 dargestellte erfindungsgemäße Halbleiterbauelement in einer Schnittebene B-B,

25

Figur 7 einen Querschnitt durch ein weiteres Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes in Draufsicht,

30

Figur 8 einen Querschnitt durch das Halbleiterbauelement gemäß Figur 7 in einer Schnittebene C-C,

Figur 9 einen Querschnitt durch das Halbleiterbauelement gemäß Figur 7 in einer Schnittebene D-D,

35

Figur 10 ein Ausführungsbeispiel eines als vertikaler MOS-Transistor ausgebildeten erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes in Seitenansicht im Querschnitt

- 5 Figur 11 ein Ausführungsbeispiel eines als lateraler MOS-Transistor ausgebildeten erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements in Seitenansicht im Querschnitt.

10 In den Figuren bezeichnen, sofern nicht anders angegeben, gleiche Bezugszeichen gleiche Teile mit gleicher Bedeutung.

Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand einer n-leitenden Diode und anhand von n-leitenden MOS-Transistoren näher erläutert, wobei im folgenden Halbleiterzonen des ersten Leitungstyps p-dotierte Halbleiterzonen und Halbleiterzo-
15 nen des zweiten Leitungstyps n-dotierte Halbleiterzonen sind, die bei der Diode deren Anodenzone und Katodenzone und bei dem MOS-Transistor dessen Body-Zone und Drain-Zone bilden. Die Erfindung ist selbstverständlich nicht auf n-leitende
20 Bauelemente beschränkt sondern ist vielmehr auch auf p-leitende Bauelemente anwendbar, wobei die im folgenden getroffenen Aussagen entsprechend für solche p-leitenden Bauelemente gelten, wenn die in den folgenden Ausführungen n-dotierten Zonen durch p-dotierte Zonen ersetzt werden und die
25 im folgenden p-dotierten Zonen durch n-dotierte Zone ersetzt werden. Des weiteren ist die Erfindung nicht auf Dioden und MOS-Transistoren begrenzt sondern auf beliebige weitere Halbleiterbauelemente, beispielsweise IGBT oder Thyristoren, anwendbar, die einen abhängig von einer angelegten Spannung
30 leitend oder sperrend gepolten pn-Übergang und eine sich an den pn-Übergang anschließende Driftzone aufweisen.

Figur 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines als Diode ausgebildeten erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes. Das Bau-
35 element umfasst eine p-dotierte erste Halbleiterzone 10, die die Anodenzone der Diode bildet und die durch eine sich in die erste Halbleiterzone 10 hinein erstreckende Elektrode 11

kontaktierbar ist. Das Bauelement umfasst weiterhin eine stark n-dotierte zweite Halbleiterzone 20, die beabstandet zu der ersten Halbleiterzone 10 angeordnet ist und die mittels einer sich ebenfalls in diese Halbleiterzone 20 hinein erstreckenden Anschlusselektrode 21 kontaktierbar ist. Zwischen der ersten Halbleiterzone 10 und der zweiten Halbleiterzone 20 ist eine Driftzone 30 ausgebildet, die in dem Ausführungsbeispiel schichtartig aufgebaut ist und abwechselnd n-dotierte dritte Halbleiterzonen 31, 33, 35 und p-dotierte vierte Halbleiterzonen 32, 34, 36 aufweist. Zwischen der ersten Halbleiterzone 10 und den dritten Halbleiterzonen 31, 33, 36 ist ein pn-Übergang gebildet, der bei Anlegen einer positiven Spannung zwischen der ersten Anschlusselektrode 11 und der zweiten Anschlusselektrode 21 in Flussrichtung gepolt ist, so dass über die dritten Halbleiterzonen 31, 33, 36 ein Elektronenstrom und in entgegengesetzter Richtung ein Löcherstrom zwischen der ersten Halbleiterzone 10 und der zweiten Halbleiterzone 20 fließen kann. Bei Anlegen einer Sperrspannung zwischen den ersten und zweiten Anschlusselektroden 11, 21 bzw. der ersten und zweiten Anschlusszone 10, 20 ist dieser pn-Übergang zwischen der ersten Halbleiterzone 10 und den n-dotierten dritten Halbleiterzonen 31, 33, 35 in Sperrrichtung gepolt, wodurch sich mit zunehmender Sperrspannung eine Raumladungszone ausgehend von dem pn-Übergang in Richtung der zweiten Halbleiterzone 20 in der Driftzone ausbreitet. Die benachbart zu den dritten Halbleiterzonen 31, 33, 35 angeordneten p-dotierten vierten Halbleiterzonen dienen im Sperrfall in der bei Kompensationsbauelementen hinlänglich bekannten Weise zur Kompensation der freien Ladungsträger in den n-dotierten dritten Halbleiterzonen 31, 33, 35. Die Gesamtmenge der n-Dotierstoffatome in der Driftzone 30 entspricht dabei vorzugsweise der Gesamtmenge aller p-Dotierstoffatome in der Driftzone 30, so dass bei maximaler Sperrspannung in der Driftzone 30 keine freien Ladungsträger mehr vorhanden sind und die n-dotierten dritten Halbleiterzonen 31, 33, 35 und die p-dotierten vierten Halbleiterzonen

32, 34, 36 sich vollständig von freien Ladungsträgern ausräumen.

In der Driftzone 30 ist eine Stromflussrichtung S definiert, die in Figur 1 durch den Pfeil veranschaulicht ist und die in der Richtung verläuft, in der die Driftzone 30 einen Stromfluss zwischen der ersten und zweiten Halbleiterzone 10, 20 ermöglicht. Die Stromflussrichtung bezeichnet dabei die Flussrichtung des Elektronenstromes oder des entgegengesetzten Löcherstromes. Zur Erhöhung der Spannungsfestigkeit des in Figur 1 dargestellten Halbleiterbauelementes ist vorgesehen, dass der gemäß Gleichung (1) definierte Kompensationsgrad in einer Richtung senkrecht zur Stromflussrichtung S wenigstens in einem Abschnitt der Driftzone 30 variiert. Anstelle von Kompensationsgrad, der das Verhältnis von n-Dotierstoffatomen zu p-Dotierstoffatomen wiedergibt, spricht man auch von Nettodotierung, wobei eine n-lastige Nettodotierung einen Überschuss an n-Dotierstoffatomen in einem vorgegebenen Bereich und eine p-lastigen Nettodotierung einen Überschuss an p-Dotierstoffatomen in einem vorgegebenen Bereich bezeichnet, wobei solche Bereiche betrachtet werden, die in einer Richtung senkrecht zu den pn-Übergängen zwischen benachbarten dritten und vierten Halbleiterzonen 31-36 wenigstens einen Abschnitt einer dritten und einer vierten Halbleiterzone enthalten.

Das Bauelement gemäß Figur 1 ist als laterales Halbleiterbauelement in einem Halbleiterkörper 100 ausgebildet, wobei die erste Halbleiterzone 10, die zweite Halbleiterzone 20 und die Driftzone 30 auf einem schwach p-dotierten Halbleitersubstrat 40 aufgebracht sind und die erste Anschlusselektrode 11 sowie die zweite Anschlusselektrode 21 an einer Vorderseite 101 des Halbleiterkörpers kontaktierbar sind. Die Driftzone 30 ist durch die Vorderseite 101 des Halbleiterkörpers und auf der entgegengesetzten Seite durch das Substrat 40 begrenzt. Die Dotierung der n-dotierten dritten Halbleiterzone 31, 33, 35 und der p-dotierten vierten Halbleiterzone 32, 34, 36 ist

vorzugsweise so gewählt, dass der Kompensationsgrad in der Richtung V senkrecht zur Stromflussrichtung ausgehend von der Oberfläche 101 ansteigt, wobei der Kompensationsgrad im Bereich der Oberfläche 101 negativ ist (in diesem Bereich liegt
5 also eine p-lastige Nettodotierung vor). Entsprechend wird der Kompensationsgrad in der Driftzone 30 mit zunehmender Nähe zum Halbleitersubstrat 40 positiv (es liegt dort also eine n-lastige Nettodotierung vor). In einem mittleren Bereich zwischen der Vorderseite 101 und dem Halbleitersubstrat 40
10 liegt der Kompensationsgrad vorzugsweise in der Nähe von Null, so dass sich in diesem Bereich benachbart angeordnete dritte Halbleiterzonen und vierte Halbleiterzonen, beispielsweise die dritte Halbleiterzone 33 und die vierte Halbleiterzone 34, im Sperrfall vollständig ausräumen, während sich be-
15 nachbarte dritte und vierte Halbleiterzonen im oberen Bereich, beispielsweise die dritte Halbleiterzone 31 und vierte Halbleiterzone 32 nicht vollständig kompensieren, so dass ein p-Ladungsträgerüberschuss in diesem Bereich verbleibt. Entsprechend kompensieren sich benachbarte dritte Halbleiterzo-
20 nen und vierte Halbleiterzonen, beispielsweise die Halbleiterzonen 35 und die Halbleiterzonen 36 im unteren Bereich der Driftzonen nicht vollständig gegenseitig, so dass dort n-Ladungsträger verbleiben, die jedoch die verbleibenden p-Ladungsträger im oberen Bereich kompensieren, so dass bei ma-
25 ximaler Sperrspannung alle freien Ladungsträger ausgeräumt sind.

In bekannter, in der DE 198 40 032 C1 ausführlich beschriebenen Weise beeinflusst der Kompensationsgrad in der Driftzone
30 eines Kompensationsbauelementes die Feldstärkeverteilung im Sperrfall, wobei in solchen Bereichen, in denen der Kompensationsgrad nicht Null ist, in solchen Bereichen also, in denen sich benachbarte n-dotierte Zonen und p-dotierte Zonen nicht gegenseitig vollständig ausräumen können, geringere Feldstär-
35 ken vorherrschen als in solchen Halbleiterbereichen, in denen der Kompensationsgrad Null ist, in denen sich benachbarte p-dotierte Zonen und n-dotierte Zonen also vollständig ausräu-

men. Die Erfindung macht sich dieses Erkenntnis zunutze, um durch Variation des Kompensationsgrades senkrecht zur Stromflussrichtung S den Feldstärkeverlauf so zu beeinflussen, dass die Feldstärken im Randbereich der Driftzone, beispielsweise im Bereich unterhalb der Oberfläche 101, geringer, zumindest jedoch nicht höher, sind als in weiter innen liegenden Bereichen der Driftzone 30. Diese Verringerung der Feldstärken im Randbereich der Driftzone wirkt bekannten Effekten entgegen, die die Spannungsfestigkeit besonders im Randbereich von Halbleiterbauelementen reduzieren. Wegen des bekannten Zusammenhangs zwischen dem Einschaltwiderstand und der Spannungsfestigkeit ermöglicht es das erfindungsgemäße Vorgehen, nämlich den Kompensationsgrad senkrecht zur Stromflussrichtung zu variieren und insbesondere ausgehend vom Randbereich ansteigen zu lassen, entweder bei gleichbleibendem Einschaltwiderstand die Spannungsfestigkeit zu erhöhen oder bei gleichbleibender Spannungsfestigkeit den Einschaltwiderstand zu verringern.

Neben der Änderung des Kompensationsgrades quer zur Stromflussrichtung S besteht weiterhin die Möglichkeit, den Kompensationsgrad entlang der Stromflussrichtung zu variieren, wie dies beispielsweise in der DE 198 40 032 C2 beschrieben ist.

Zur Erzielung eines ausgehend von der Vorderseite 101 senkrecht zur Stromflussrichtung S ansteigenden Kompensationsgrades besteht die Möglichkeit, die n-dotierten dritten Halbleiterzonen 31, 33, 35 jeweils gleich zu dotieren und die Dotierung der p-dotierten vierten Halbleiterzonen 32, 34, 36 zu variieren, wobei die Dotierung ausgehend von der Vorderseite 101 senkrecht zur Stromflussrichtung S von vierter Halbleiterzone zu vierter Halbleiterzone abnimmt, bzw. in Richtung der Vorderseite 101 zunimmt.

Alternativ besteht die Möglichkeit, die p-dotierten vierten Halbleiterzonen 32, 34, 36 jeweils gleich zu dotieren und den

Dotierungsgrad der n-dotierten dritten Halbleiterzonen 31, 33, 35 so zu variieren, dass die Dotierung ausgehend von der Vorderseite 101 von dritter Halbleiterzone zu dritter Halbleiterzone in der Richtung senkrecht zur Stromflussrichtung S zunimmt.

Als weitere Alternative besteht die Möglichkeit, sowohl den Dotierungsgrad der dritten Halbleiterzonen 31, 33, 35 als auch den Dotierungsgrad der vierten Halbleiterzonen 32, 34, 36 zu variieren, wobei dann die Dotierung der dritten Halbleiterzonen 31, 33, 35 ausgehend von der Vorderseite 101 zunimmt und die Dotierung der p-dotierten vierten Halbleiterzonen 32, 34, 36 senkrecht zur Stromflussrichtung ausgehend von der Vorderseite 101 abnimmt.

15

In allen Fällen ist die Dotierung vorzugsweise so gewählt, dass wenigstens in einem inneren Bereich der Driftzone 30 Abschnitte vorhanden sind, in denen ein Kompensationsgrad von Null erreicht wird, in dem sich benachbarte p-dotierte Zonen und n-dotierte Zonen im Sperrfall also gegenseitig vollständig ausräumen. Die Dotierung in den einzelnen dritten und vierten Halbleiterzonen ist vorzugsweise jeweils wenigstens annäherungsweise homogen.

25

Außerdem besteht die Möglichkeit, den Dotierungsgrad nahe der Vorderseite 101 negativ einzustellen und den Dotierungsgrad in den übrigen Bereichen der Driftzone 30 beabstandet zu der Oberfläche gleich, und zwar etwas größer als Null, einzustellen.

30

Bei dem Halbleiterbauelement gemäß der Figuren 1 und 2 wurde von einer Driftzone 30 ausgegangen, die aus abwechselnd angeordneten n-dotierten Schichten 31, 33, 35, die die dritten Halbleiterzonen bilden, und p-dotierten Schichten 32, 34, 36, die die vierten Halbleiterzonen bilden, aufgebaut ist.

35

Figur 3 zeigt einen dem Querschnitt gemäß Figur 2 entsprechenden Querschnitt durch die Driftzone eines Halbleiterbauelementes gemäß einer weiteren Ausführungsform. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist die Driftzone aus einer Vielzahl jeweils abwechselnd angeordneter langgestreckter n-dotierter und p-dotierter Halbleiterzonen aufgebaut, die im Querschnitt als Quadrate erscheinen. Auch bei diesem Ausführungsbeispiel steigt der Kompensationsgrad ausgehend von der durch die Vorderseite 101 gebildeten Grenzfläche in einer Richtung senkrecht zur Stromflussrichtung an, wobei die Stromflussrichtung in Figur 3 senkrecht zur Zeichenebene verläuft. Wie Figur 3 zudem veranschaulicht, kann das p-dotierte Halbleitersubstrat 40 gemäß Figur 1 auch durch ein sogenanntes SOI-Substrat ersetzt werden, welches ein Halbleitersubstrat 42 und eine auf das Halbleitersubstrat 42 aufgebrachte Isolationsschicht 44 aufweist, wobei die aktiven Bereiche des Halbleiterbauelementes in der Halbleiterschicht oberhalb der Isolationsschicht 44 ausgebildet sind.

Figur 4 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines als MOS-Transistor ausgebildeten erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes, das im Aufbau der Diode gemäß Figur 1 ähnelt und ebenfalls als laterales Halbleiterbauelement ausgebildet ist. Das Bauelement umfasst eine p-dotierte erste Halbleiterzone 10, die die Body-Zone des Transistors bildet, eine stark n-dotierte zweite Halbleiterzone 20, die die Drain-Zone des Halbleiterbauelementes bildet, eine zwischen der Body-Zone 10 und der Drain-Zone 20 ausgebildete Driftzone 30, sowie eine in der Body-Zone 10 beabstandet zu der Driftzone 30 angeordnete stark n-dotierte Source-Zone 50. Die Body- und die Source-Zone 10, 50 sind im Bereich einer Vorderseite 101 des Halbleiterkörpers 100, in dem das Bauelement ausgebildet ist, angeordnet, wobei die Source-Zone 50 durch eine Source-Elektrode 51 kontaktiert ist, die gleichzeitig die Source-Zone 50 und die Body-Zone 10 in bekannter Weise kurzschließt. Isoliert gegenüber der Source-Zone 50, der Body-Zone 10 und der Driftzone 30 ist eine Gate-Elektrode 60 angeordnet, die

in einem sich V-förmig in den Halbleiterkörper 100 hinein erstreckenden Graben angeordnet und durch eine Isolations-
schicht, beispielsweise ein Halbleiteroxid 61, gegenüber dem
Halbleiterkörper 100 isoliert ist. Bei Anlegen einer Steuer-
5 spannung an die Gate-Elektrode 60 bildet sich in der Body-
Zone 10 entlang der Isolationsschicht 61 ein leitender Kanal
aus und ermöglicht bei Anlegen einer positiven Spannung zw-
ischen der Drain-Zone 20 und der Source-Zone 50 über die n-
dotierten dritten Halbleiterzonen 31 der Driftzone 30 einen
10 Stromfluss zwischen der Source-Zone 50 und der Drain-Zone 20.

Entlang der Gate-Elektrode 60 erstreckt sich in dem Halblei-
terkörper 100 eine Halbleiterzone 38, die senkrecht zur Zei-
chenrichtung streifenförmig ausgebildet, wobei die einzelnen
15 Streifen abwechselnd p-dotiert und n-dotiert sind. P-dotierte
Streifen der Halbleiterzone 38 schließen die p-dotierten
vierten Halbleiterzonen 34, 36 an die Body-Zone an, und er-
möglichen bei einem Wiedereinschalten das Abfließen von p-
Ladungsträgern aus den vierten Zonen, wobei sich in den p-
20 dotierten Streifen bei Anlegen eines Ansteuerpotentials an
die Steuerelektrode ebenfalls leitende Kanäle ausbilden. Die
n-dotierten Streifen der Halbleiterzone 38 ermöglichen einen
Elektronenstrom von der Body-Zone 10 und den p-dotierten
Streifen der Halbleiterzone 38 in die dritten Halbleiterzonen
25 31, 33, 35.

Die Driftzone 30 umfasst in dem Ausführungsbeispiel weiterhin
einen n-dotierten Bereich 37 im Anschluss an die Drain-Zone
20, so dass die p-dotierten vierten Halbleiterzonen 32, 34,
30 36 nicht bis an die Drain-Zone 20 reichen. Es besteht jedoch
auch die Möglichkeit, auf diese weitere n-dotierte Halblei-
terzone 37 zu verzichten, so dass die Struktur mit den ab-
wechselnd angeordneten n-dotierten dritten Halbleiterzonen
31, 33, 35 und p-dotierten vierten Halbleiterzonen 32, 34, 36
35 bis an die Drain-Zone 20 reicht.

Auch bei diesem Bauelement variiert in der bereits anhand des Bauelements in Figur 1 erläuterten Weise der Kompensationsgrad in der Driftzone 30 in der Richtung V senkrecht zur Stromflussrichtung S, wobei der Kompensationsgrad ausgehend von der die Driftzone 30 nach oben hin begrenzenden Vorderseite 101 in der Richtung V senkrecht zur Stromflussrichtung S zunimmt. Im Bereich unterhalb der Vorderseite 101 ist der Kompensationsgrad dabei vorzugsweise negativ, während er auf der entgegengesetzten Seite der Driftzone entsprechend positiv ist und wobei in einem inneren Bereich der Driftzone 30 der Kompensationsgrad Null ist. Alternativ kann der Kompensationsgrad im Bereich der Vorderseite Null und in den übrigen Bereichen beabstandet zu der Vorderseite größer Null sein. Insgesamt ist die Dotierungskonzentration der dritten und vierten Halbleiterzonen 31-36 einschließlich der n-dotierten Halbleiterzonen 37, 38 so gewählt, dass bei maximaler Sperrspannung alle freien Ladungsträger in der Driftzone 30 ausgeräumt sind.

Im Gegensatz zu dem Bauelement gemäß Figur 1 ist der MOS-Transistor gemäß Figur 4 auf einem sogenannten SOI-Substrat aufgebracht, das ein Halbleitersubstrat 42 und eine auf das Halbleitersubstrat 42 aufgebrachte Isolationsschicht umfasst.

Die Figuren 5 und 6 zeigen ein weiteres Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes, wobei die grundsätzliche Struktur dieses Halbleiterbauelementes bekannt ist..

Das Halbleiterbauelement gemäß der Figuren 5 und 6 ist ebenfalls als lateraler MOS-Transistor ausgebildet, dessen Body-Zone 10 und Drain-Zone 20 im Bereich der Vorderseite 101 des Halbleiterkörpers 100, in dem das Bauelement integriert ist, angeordnet sind. Die Source-Zone 50 ist in der Body-Zone 10 angeordnet und durch eine die Body-Zone 10 und die Source-Zone 50 kurzschließende Source-Elektrode 51 kontaktiert. Die

Drain-Zone 20 ist in entsprechender Weise durch eine Drain-Elektrode 21 kontaktiert.

Eine Elektrode 60 ist isoliert durch eine Isolationsschicht
5 61 oberhalb der Vorderseite 101 des Halbleiterkörpers 100 angeordnet und umfasst einen ersten, als Gate-Elektrode dienenden Abschnitt, der oberhalb der Body-Zone 10 zwischen der Source-Zone 50 und einer zwischen der Body-Zone 10 und der Drain-Zone 20 angeordneten Driftzone 30 verläuft. Im Anschluss an diesen Gate-Elektrodenabschnitt weist die Elektrode 60 einen stufenförmigen als Feldplatte dienenden Abschnitt auf.

Wie insbesondere dem in Figur 6 dargestellten Querschnitt
15 entlang der in Figur 5 gezeigten Schnittebene B-B zu entnehmen ist, umfasst die Driftzone 30 eine n-dotierte dritte Halbleiterzone, die oberhalb eines p-dotierten Substrates 40 angeordnet ist und in die die Body-Zone 10 und die Drain-Zone 20 in lateraler Richtung beabstandet zueinander eingebettet
20 sind. Die Driftzone 30 umfasst weiterhin eine Vielzahl säulenförmig ausgebildeter p-dotierter vierter Halbleiterzonen 312, die beabstandet zueinander in der n-dotierten dritten Halbleiterzone 311 angeordnet sind und die sich in vertikaler Richtung des Halbleiterkörpers 100, also senkrecht zu der Stromflussrichtung S, zwischen der Vorderseite 101 und dem Substrat 40 erstrecken. Die Säulen 312 sind in Figur 6 beispielhaft mit einem kreisförmigen Querschnitt dargestellt. Selbstverständlich sind beliebige weitere Querschnittsformen, insbesondere hexagonale oder rechteckförmige Querschnitte anwendbar.
30

Die Dotierung der dritten Halbleiterzone 311 und der säulenförmigen vierten Halbleiterzonen 312 ist so gewählt, dass der Kompensationsgrad senkrecht zu der Stromflussrichtung S variiert und vorzugsweise ausgehend von der Vorderseite 101 in
35 der Richtung V senkrecht zur Stromflussrichtung S zunimmt. Der Kompensationsgrad kann bei dem Bauelement gemäß Figur 5

dadurch ermittelt werden, dass in einer Ebene oder in einer sehr dünnen Schicht parallel zur Stromflussrichtung gemäß Gleichung 1 die Differenz zwischen den n-Dotierstoffatomen und den p-Dotierstoffatomen ermittelt und der erhaltene Wert durch die Anzahl der n-Dotierstoffatome in dieser Ebene geteilt wird.

Die Variation des Kompensationsgrades quer zur Stromflussrichtung kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass die dritte Halbleiterzone 311 homogen dotiert ist, während die p-Dotierung der säulenförmigen vierten Halbleiterzonen in vertikaler Richtung des Halbleiterkörpers 100 ausgehend von der Vorderseite 101 abnimmt. Entsprechend besteht die Möglichkeit, die Säulen 312 homogen zu dotieren und die Dotierung der dritten Halbleiterzone 311 zu variieren, wobei für einen ausgehend von der Vorderseite 101 ansteigenden Kompensationsgrad eine zunehmende Dotierung der dritten Halbleiterzone 311 ausgehend von der Vorderseite 101 erforderlich ist.

Bei diesem Halbleiterbauelement gemäß der Figuren 5 und 6 ist die Gesamtdotierung der dritten Halbleiterzone 311 und der darin angeordneten säulenförmigen vierten Halbleiterzonen 312 so gewählt, dass die Gesamtzahl der n-Dotierstoffe und die Gesamtzahl der p-Dotierstoffe in der Driftzone 30 wenigstens annäherungsweise gleich sind, so dass bei Anlegen einer maximalen Sperrspannung die Driftzone vollständig von freien Ladungsträgern ausgeräumt ist. Um die Feldstärken im Bereich der Vorderseite 101 zu reduzieren ist der Kompensationsgrad in der Driftzone 30 unterhalb der Vorderseite 101 vorzugsweise negativ, es liegt also eine p-lastige Nettodotierung vor, während im Inneren der Driftzone 30 beabstandet zu der Vorderseite 101 wenigstens ein Abschnitt vorhanden ist, in dem der Kompensationsgrad Null beträgt.

Figur 5B veranschaulicht beispielhaft den Verlauf des Kompensationsgrades entlang einer senkrecht zur Stromflussrichtung S verlaufenden Linie zwischen einem Punkt a an der Vordersei-

te 101 und einem Punkt a' an der Grenze zum Substrat 40. Dieser Kompensationsgrad K kann kontinuierlich ansteigen, wenn die Dotierung der p-dotierten Säulen 312 bzw. der n-dotierten Zone 311 sich senkrecht zur Stromflussrichtung S kontinuierlich ändert, was im Ergebnis durch die durchgezogene Linie in Figur 5B dargestellt ist. Der Kompensationsgrad im Punkt a ist in Figur 5B mit $-K_0$ bezeichnet, der Kompensationsgrad im Punkt a' beträgt K_0 . Dieser Wert für den Kompensationsgrad K_0 liegt beispielsweise in einem Bereich zwischen 10% und 20%, $-K_0$ entsprechend zwischen -10% und -20%. Vorzugsweise ist der Verlauf des Kompensationsgrades K entlang der Linie a-a' stufenförmig, wobei im Inneren der Driftzone 30 ein mehr oder weniger breiter Bereich vorhanden ist, in dem der Kompensationsgrad Null beträgt. Ein solch stufenförmiger Verlauf des Kompensationsgrades ist bei dem in der DE 201... erläuterten Herstellungsverfahren für ein Bauelement gemäß der Figuren 5 und 6 einfach herstellbar. Bei diesem Herstellverfahren werden auf dem Substrat 40 aufeinanderfolgend n-dotierte Epitaxieschichten abgeschieden, wobei mittels einer Maskentechnik in die Epitaxieschichten jeweils p-dotierte Inseln eingebracht werden, die sich bei einem abschließenden Diffusionsschritt zu den p-dotierten Säulen 312 miteinander verbinden. Die Variation des Kompensationsgrades kann dabei dadurch erreicht werden, dass gleichartig dotierte Epitaxieschichten abgeschieden werden, während die Dotierung der die späteren Säulen 312 bildenden p-Inseln von Epitaxieschicht zu Epitaxieschicht variiert.

Die Unterteilung der Driftzone 30 in einzelne Epitaxieschichten ist in Figur 5A durch gestrichelte Linien veranschaulicht. Die Breite einer der Stufen im Verlauf des Kompensationsgrades gemäß Figur 5B entspricht der Breite dieser Epitaxieschichten oder vielfachen davon. In dem Beispiel gemäß Figur 5 sind beispielhaft sechs solche Epitaxieschichten dargestellt, wobei die Dotierung so gewählt ist, dass bei den beiden mittleren Epitaxieschichten sich die zugehörigen Abschnitte der p-dotierten Säulen 312 und die zugehörigen n-

dotierten Abschnitte der Epitaxieschichten vollständig kompensieren, so dass der Kompensationsgrad im Bereich dieser beiden Schichten Null beträgt.

- 5 Der Vollständigkeit halber sei darauf hingewiesen, dass das Halbleiterbauelement gemäß Figur 5 auch auf einem Substrat ausgebildet werden kann, das anstelle des Halbleitersubstrats 40 ein SOI-Substrat mit einem Halbleitersubstrat und einer darauf aufgetragenen Isolationsschicht umfasst.

10

Die Figuren 7 bis 9 zeigen ein weiteres Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes wobei Figur 7 das Halbleiterbauelement in Draufsicht im Querschnitt und die Figuren 8 und 9 dieses Halbleiterbauelement entlang der

- 15 Schnittebene C-C bzw. D-D in Figur 7 zeigen. Das Bauelement ist als sogenannter lateraler Seitenwandtransistor ausgebildet und umfasst ein Halbleitersubstrat 40, auf dem in lateraler Richtung beabstandet zueinander die p-dotierte Body-Zone 10 und die n-dotierte Source-Zone 20 angeordnet sind. Zwischen der Body-Zone 10 und der Source-Zone 30 ist eine Driftzone 30 angeordnet, die n-dotierte dritte Halbleiterzonen 313-363 und p-dotierte vierte Halbleiterzonen 314-364 sowie eine n-dotierte Halbleiterzone 317 zwischen diesen komplementär dotierten dritten und vierten Halbleiterzonen 313-364 und der Drain-Zone 20 umfasst. Auf diese zusätzliche n-dotierte Halbleiterzone 317 kann jedoch verzichtet werden. Ein Derartiger Seitenwandtransistor ist grundsätzlich aus der DE 198 40 032 C2 bekannt.

- 30 Die Body-Zone 10, die Driftzone 30 und die Drain-Zone 20 reichen jeweils von der Vorderseite 101 des Halbleiterkörpers 100, in dem das Bauelement ausgebildet ist, bis an das Substrat 40. Die Body-Zone 10 ist dabei zwischen der Driftzone 30 und einer n-dotierten Source-Zone 50 angeordnet, die ebenfalls von der Vorderseite 101 bis an das Substrat 40 reicht. In Gräben, die sich in vertikaler Richtung, also senkrecht zu der Stromflussrichtung S in den Halbleiterkörper 100 hinein

erstrecken sind isoliert gegenüber dem Halbleiterkörper Gate-Elektroden 60 ausgebildet, die in lateraler Richtung von der Source-Zone 50 bis in die Driftzone 30 reicht, wobei sich in der Body-Zone 10 entlang der Seitenwände dieser Gate-

5 Elektroden 60 bei Anlegen eines Ansteuerpotentials ein leitender Kanal zwischen der Source-Zone 50 und der Driftzone 30 ausbildet, wobei die Gate-Elektroden (von denen in Figur 7 nur eine dargestellt ist) so angeordnet sind, dass diese sich entlang der Seitenwände ausbildenden leitenden Kanäle in der
10 Driftzone in eine der n-dotierten dritten Halbleiterzonen 313-363 münden. Die Source-Zone 50 und die Body-Zone 10 sind mittels einer oberhalb des Halbleiterkörpers 100 angeordneten Source-Elektrode 51 kurzgeschlossen, wobei sich Säulen 12 in vertikaler Richtung durch die Body-Zone 10 bis in das Sub-
15 strat 40 erstrecken, die dazu dienen, den Kurzschluss zwischen Source 50 und Body 10 zu verbessern. Diese Säulen 12 bestehen beispielsweise aus Polysilizium oder einem vergleichbaren Halbleitermaterial. Oberhalb der Vorderseite ist im Übergangsbereich zwischen der Body-Zone 10 und der Drift-
20 zone 30 isoliert gegenüber dem Halbleiterkörper 100 eine stufenförmig ausgebildete Feldplatte 70 vorhanden, die mittels einer Isolationsschicht 71 gegenüber dem Halbleiterkörper 100 isoliert ist.

5 Anschlüsse für die Gateelektrode 60 sind in den Figuren 7 bis 9 nicht explizit dargestellt.

Die Driftzone 30 ist in dem Ausführungsbeispiel schichtartig aufgebaut, wie insbesondere den Figuren 8 und 9 zu entnehmen
30 ist, wobei in jeder dieser Schichten abwechselnd nebeneinanderliegend n-dotierte dritte Halbleiterzonen 313-363 und p-dotierte vierte Halbleiterzonen 314-364 angeordnet sind.

Erfindungsgemäß variiert der Kompensationsgrad in der Rich-
35 tung V senkrecht zur Stromflussrichtung S und nimmt vorzugsweise ausgehend von der Vorderseite 101 des Halbleiterkörpers 100 in Richtung des Halbleitersubstrates 40 zu. Dies wird beispielsweise dadurch erreicht, dass die

beispielsweise dadurch erreicht, dass die dritten Halbleiterzonen 313 bis 363 in allen Schichten gleich dotiert sind, während die Dotierung der p-dotierten vierten Halbleiterzonen 314 ausgehend von der Vorderseite 101 in Richtung des Halbleitersubstrats 40 abnimmt. Entsprechend besteht die Möglichkeit, die vierten Halbleiterzonen 314-364 jeweils gleich zu dotieren und die Dotierungskonzentration der n-dotierten dritten Halbleiterzonen 313-363 zu variieren, wobei zur Erzielung eines ausgehend von der Vorderseite 101 ansteigenden Kompensationsgrades die Dotierungskonzentration der dritten Halbleiterzonen 313 ausgehend von der Vorderseite 101 von Schicht zu Schicht zunimmt. Weiterhin besteht auch die Möglichkeit, die Dotierungskonzentration der dritten Halbleiterzonen 313 ausgehend von der Vorderseite 101 von Schicht zu Schicht ansteigen zu lassen und gleichzeitig die Dotierung der p-dotierten vierten Halbleiterzonen 314-364 von Schicht zu Schicht abnehmen zu lassen.

Unter der Annahme, dass die Dotierung der dritten Halbleiterzonen 313-363 einer der übereinander angeordneten Halbleiterschichten jeweils annähernd homogen ist und dass auch die Dotierung der vierten Halbleiterschichten 314-364 einer der übereinander angeordneten Halbleiterschichten annähernd homogen ist, ergibt sich ein in der Richtung senkrecht zur Stromflussrichtung S stufenförmiger Verlauf des Kompensationsgrades.

Die dritten Halbleiterzonen 313-363 und 314-364 verlaufen vorzugsweise, wie dies in Figur 7 dargestellt ist, in Stromflussrichtung S keilförmig, wodurch ein sich auch in Stromflussrichtung S variierender Kompensationsgrad ergibt. Die Vorteile eines solchen sich in der Stromflussrichtung ändernden Kompensationsgrades sind ausführlich in der DE 198 40 032 erläutert.

35

In dem Ausführungsbeispiel sind die p-dotierten vierten Halbleiterzonen 314 in Draufsicht im Anschluss an die Body-Zone

10 breiter als die n-dotierten dritten Halbleiterzonen 313, wobei sich die vierten Halbleiterzonen 314-364 in Richtung der Drain-Zone 20 verjüngen und die dritten Halbleiterzonen 313-363 komplementär dazu entsprechend verbreitern. Aufgrund dieser Geometrie steigt der Kompensationsgrad in der Driftzone 30 ausgehend von der Body-Zone 10 in Richtung der Drain-Zone 20 an. Unterteilt man die Driftzone 30 in Stromflussrichtung S in drei Abschnitte I, II, III, die in dem Beispiel etwa gleich breit sind, so ist die Dotierung der dritten Halbleiterzonen 313-363 und vierten Halbleiterzonen 314-364 so aufeinander abgestimmt, dass der Kompensationsgrad wenigstens in der mittleren Zone II im Bereich der Vorderseite 101 des Halbleiterkörper negativ ist und aufgrund der bereits zuvor erläuterten Variation der Dotierung der dritten und/oder vierten Halbleiterzonen 313-363, 314-364 senkrecht zur Stromflussrichtung S in Richtung des Halbleitersubstrats 40 zunimmt.

Aufgrund dieser Forderung nach einem negativen Kompensationsgrad im Bereich der Oberfläche 101 im zweiten Abschnitt II, resultiert im ersten Abschnitt I benachbart zu der Body-Zone 10 aufgrund der keilförmigen Ausbildung der dritten und vierten Halbleiterzonen 313-364 und der daraus resultierenden großflächigeren vierten Halbleiterzonen 314-364, im Bereich der Oberfläche 101, ebenfalls ein negativer Kompensationsgrad. Der Kompensationsgrad in der dritten Halbleiterzone 3 im Bereich unterhalb der Vorderseite 101 kann dabei ebenfalls negativ sein, kann in diesem Bereich jedoch auch Null oder positiv sein. Insgesamt gilt in allen drei Abschnitten I, II, III vorzugsweise, dass der Kompensationsgrad ausgehend von der Vorderseite 101 in Richtung des Halbleitersubstrats 40 zunimmt, was durch die oben erläuterte Variation der Dotierung in den dritten Halbleiterzonen 313-363 und/oder den vierten Halbleiterzonen 314-364 erreicht werden kann.

Selbstverständlich kann auch das Halbleiterbauelement gemäß der Figuren 7 bis 9 auf einem SOI-Substrat anstelle des dar-

gestellten p-dotierten Halbleitersubstrats 40 ausgebildet sein.

Der wesentliche Gedanke der vorliegenden Erfindung besteht
5 darin, in der Driftzone von Halbleiterbauelementen die Feldstärke in einem parallel zur Stromflussrichtung verlaufenden Randbereich der Driftzone zu reduzieren. Dies wird in der zuvor erläuterten Weise bei Kompensationsbauelementen dadurch erreicht, dass der Kompensationsgrad senkrecht zur Strom-
10 flussrichtung variiert wird.

Bei Halbleiterbauelementen mit einer Driftzone nur eines Leitungstyps kann dies dadurch erreicht werden, dass die Dotierungskonzentration in einer Richtung senkrecht zur Strom-
15 flussrichtung in der Driftzone variiert wird, wie nachfolgend anhand eines vertikalen n-leitenden MOS-Transistors in Figur 10 und eines lateralen n-leitenden MOS-Transistors in Figur 11 erläutert wird.

Der MOS-Transistor gemäß Figur 10 umfasst in vertikaler Richtung übereinander liegend eine stark n-dotierte Drain-Zone 20, die beispielsweise durch ein Halbleitersubstrat gebildet ist, eine oberhalb der Drain-Zone 20 angeordnete ebenfalls n-dotierte Driftzone 70, die beispielsweise mittels Epitaxie auf die Zone 20 aufgebracht ist. Im Bereich der Vorderseite
25 101 eines durch die Drain-Zone 20 und die Driftzone 70 gebildeten Halbleiterkörpers 100 sind mehrere p-dotierte Body-Zonen 10 eingebracht, in die wiederum stark n-dotierte Source-Zonen 50 eingebracht sind, wobei die Body-Zonen 10 und die
30 Source-Zonen 50 durch eine oberhalb des Halbleiterkörpers 100 angeordnete Source-Elektrode 51 kurzgeschlossen sind. Eine Gate-Elektrode ist isoliert gegenüber dem Halbleiterkörper 100 ebenfalls oberhalb der Vorderseite 101 aufgebracht, wobei sich bei Anlegen eines Ansteuerpotentials in den Body-Zonen
35 10 unterhalb der Gate-Elektrode 60 leitende Kanäle entlang der Vorderseite 101 zwischen den Source-Zonen 50 und der Driftzone 70 ausbilden. Ein Stromfluss zwischen den Source-

Zonen 50 und der Drain-Zone 20 bei Anlegen einer positiven Spannung zwischen Drain D und Source S bei angesteuerter Steuerelektrode ist durch die Pfeile in Figur 10 veranschaulicht, wobei der Strom im wesentlichen in einem Abschnitt 71 zwischen zwei benachbarten Body-Zonen 10 in vertikaler Richtung des Halbleiterkörpers 100 fließt. Um eine möglichst homogene Stromverteilung in diesem Abschnitt 71 der Driftzone 70 zu erreichen ist vorgesehen, die Dotierung in diesem Abschnitt 71 senkrecht zur Stromflussrichtung S so zu variieren, dass die Dotierung in lateraler Richtung ausgehend von den Body-Zonen 10 jeweils zunimmt, um in einem Bereich in der Mitte zwischen zwei benachbarten Body-Zonen 50, der beispielsweise strichpunktiert dargestellt ist, die höchste Dotierung und damit den niedrigsten Bahnwiderstand zu erhalten. Hierdurch wird die Stromdichte im Randbereich des stromdurchflossenen Abschnitts 71 reduziert und der Strom gleichmäßiger über den Querschnitt dieses Abschnitts 71 verteilt.

Das laterale Bauelement gemäß Figur 11 unterscheidet sich von dem in Figur 10 dargestellten im wesentlichen dadurch, dass die Driftzone 70 auf einem p-leitenden Substrat 40 aufgebracht ist und die Drain-Zone 20 ebenfalls im Bereich der Vorderseite 101 des Halbleiterkörpers 100 angeordnet ist, so dass sich bei leitend angesteuerter Gate-Elektrode 60 ein Stromfluss in lateraler Richtung des Halbleiterkörpers 100 zwischen der Source-Zone 50 und der Drain-Zone 20 ausbildet.

Erfindungsgemäß variiert in dem hauptsächlich strombelasteten Abschnitt 71 der Driftzone 70 zwischen der Body-Zone 10 und der Drain-Zone 20 die Dotierung in der Richtung V senkrecht zur Stromflussrichtung S derart, dass die Dotierung ausgehend von der Vorderseite 101 in vertikaler Richtung zunimmt, um dadurch eine homogenere Stromverteilung in dem hauptsächlich von Strom durchflossenen Driftzonenabschnitt 71 zu erreichen und insbesondere die Stromdichte im Bereich der Vorderseite 101 des Halbleiterkörpers 100 zu reduzieren.

Patentansprüche

1. Halbleiterbauelement, das folgende Merkmale aufweist:

- 5 - eine erste Halbleiterzone (10) eines ersten Leitungstyps,
- eine zweite Halbleiterzone (20) eines zweiten Leitungstyps,
- eine zwischen der ersten Halbleiterzone (10) und der zwei-
10 ten Halbleiterzone (20) angeordnete Driftzone (30), die we-
nigstens eine sich zwischen der ersten Halbleiterzone (10)
und der zweiten Halbleiterzone (20) erstreckende dritte Halb-
leiterzone (31, 33, 35; 311; 313-363) des zweiten Leitungs-
typs und wenigstens eine sich an die dritte Halbleiterzone
15 (31, 33, 35; 311; 313-363) anschließende vierte Halbleiterzo-
ne (32, 34, 36; 312; 314-364) des ersten Leitungstyps auf-
weist,
- wobei die dritte Zone (31, 33, 35; 311; 313-363) in einer
20 Stromflussrichtung (S) einen Stromfluss zwischen der ersten
Halbleiterzone (10) und der zweiten Halbleiterzone (20) er-
möglicht und wobei sich die Ladungsträger der dritten (31,
33, 35; 311; 313-363) und vierten (32, 34, 36; 312; 314-364)
Halbleiterzone bei einem in Sperrrichtung gepolten Übergang
5 zwischen der ersten Halbleiterzone (10) und der dritten Halb-
leiterzone (31, 33, 35; 311; 313-363) wenigstens teilweise
kompensieren, und
- wobei ein Kompensationsgrad in einzelnen Bereichen der
30 Driftzone (30) bestimmt ist durch die Differenz zwischen der
Anzahl der Dotierstoffatome des ersten Leitungstyps und der
Anzahl der Dotierstoffatome des zweiten Leitungstyps bezogen
auf die Anzahl der Dotierstoffatome des zweiten Leitungstyps,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s
der Kompensationsgrad wenigstens in einem Abschnitt der
Driftzone (30) in einer Richtung senkrecht zur Stromfluss-
richtung (S) variiert.

5

2. Halbleiterbauelement nach Anspruch 1, bei dem

- in der ersten Halbleiterzone (10) beabstandet zu der Drift-
zone (30) eine fünfte Halbleiterzone (50) des zweiten Lei-
10 tungstyps angeordnet ist, die durch eine Anschlusselektrode
(51) kontaktiert ist, und bei dem

- isoliert gegenüber den Halbleiterzonen eine Steuerelektrode
(60) benachbart zu der ersten Halbleiterzone (10) angeordnet
15 ist.

3. Halbleiterbauelement nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die
Driftzone (30) eine parallel zur Stromflussrichtung (S) ver-
laufende seitliche Randfläche (101) aufweist.

20

4. Halbleiterbauelement, nach Anspruch 3, bei dem der Kompen-
sationsgrad ausgehend von der Randfläche wenigstens in einem
Abschnitt der Driftzone (30) senkrecht zur Stromflussrichtung
(S) zunimmt.

25

5. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei
dem die Driftzone (30) mehrere jeweils abwechselnd angeordne-
te dritte (31, 33, 35; 311; 313-363) und vierte (32, 34, 36;
312; 314-364) Halbleiterzonen aufweist, die sich jeweils
30 schichtartig in Stromflussrichtung (S) erstrecken.

6. Halbleiterbauelement nach Anspruch 5, bei dem die vierten
(32, 34, 36) jeweils gleich stark mit Dotierstoffatomen des
ersten Leitungstyps dotiert sind und bei dem die Dotierungs-
35 konzentration der dritten Halbleiterzonen (31, 33, 35) in
Richtung der Randfläche (101) abnimmt.

7. Halbleiterbauelement nach Anspruch 6, bei dem die dritten Halbleiterzonen (31, 33, 35) in sich eine wenigstens annäherungsweise konstante Dotierung aufweisen.

- 5 8. Halbleiterbauelement nach Anspruch 7, bei dem die dritten Zonen (31, 33, 35) jeweils gleich stark mit Dotierstoffatomen des zweiten Leitungstyps dotiert sind und bei dem die Dotierung der vierten Halbleiterzonen (32, 34, 36) in Richtung der Randfläche (101) zunimmt.

10

9. Halbleiterbauelement nach Anspruch 8, bei dem die vierten Halbleiterzonen (32, 34, 36) in sich eine wenigstens annäherungsweise konstante Dotierung aufweisen.

- 15 10. Halbleiterbauelement nach Anspruch 5, bei dem die Dotierung der dritten Halbleiterzonen (31, 33, 35) mit Dotierstoffatomen des zweiten Leitungstyps in Richtung des Randes (101) abnimmt und bei dem die Dotierung der vierten Halbleiterzonen (32, 34, 36) mit Dotierstoffatomen des ersten Leitungstyps in Richtung des Randes (101) zunimmt.

20

11. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die Driftzone (30) eine dritte Halbleiterzone (313) aufweist, die sich von der ersten Halbleiterzone (10) bis an die zweite Halbleiterzone (20) erstreckt, und bei dem in der Driftzone (30) mehrere säulenförmig ausgebildete vierte Halbleiterzonen (312) angeordnet sind, die sich in ihrer Längsrichtung senkrecht zu der Stromflussrichtung (S) erstrecken.

25

- 30 12. Halbleiterbauelement nach Anspruch 11, bei dem die Dotierung der dritten Halbleiterzone (311) mit Dotierstoffatomen des zweiten Leitungstyps wenigstens annäherungsweise überall gleich ist und bei dem die Dotierung der säulenförmigen vierten Halbleiterzone (312) in deren Längsrichtung variiert.

35

13. Halbleiterbauelement nach Anspruch 11, bei dem die Dotierung der dritten Halbleiterzone (311) mit Dotierstoffatomen des zweiten Leitungstyps in einer Richtung senkrecht zur Stromflussrichtung (S) variiert und bei dem die Dotierung der säulenförmigen vierten Halbleiterzone (312) in ihrer Längsrichtung wenigstens annäherungsweise überall gleich ist.
14. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die Driftzone mehrere übereinander angeordnete Halbleiterschichten umfasst, wobei in jeder Halbleiterschicht abwechselnd nebeneinander in Stromflussrichtung langgestreckte dritte (313-363) und vierte (314-364) Halbleiterzonen angeordnet sind, wobei die dritten Halbleiterzonen (313-363) der einzelnen Schichten übereinander und die vierten Halbleiterzonen (314-364) der einzelnen Schichten übereinander angeordnet sind.
15. Halbleiterbauelement nach Anspruch 14, bei dem die Dotierung der dritten Halbleiterzonen (313-363) mit Dotierstoffatomen des zweiten Leitungstyps wenigstens annäherungsweise überall gleich ist, während die Dotierung der vierten Halbleiterzonen (314-364) in einer Richtung senkrecht zur Stromflussrichtung (S) variiert.
16. Halbleiterbauelement nach Anspruch 14, bei dem die Dotierung der vierten Halbleiterzonen (314-364) mit Dotierstoffatomen des ersten Leitungstyps wenigstens annäherungsweise überall gleich ist, während die Dotierung der dritten Halbleiterzonen (313-363) in einer Richtung senkrecht zur Stromflussrichtung (S) variiert.
17. Halbleiterbauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem der Kompensationsgrad in der Driftzone (30) in der Stromflussrichtung (S) variiert.

18. Halbleiterbauelement nach Anspruch 17, bei dem der Kompensationsgrad in der Driftzone (30) ausgehend von der ersten Halbleiterzone (10) in Richtung der zweiten Halbleiterzone (20) zunimmt.

5

19. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 14 bis 18, bei dem die dritten Halbleiterzonen (313-363) und die vierten Halbleiterzonen (314-364) in Stromflussrichtung (S) in Draufsicht in etwa keilförmig verlaufen.

10

20. Halbleiterbauelement nach Anspruch 19, bei dem sich die vierten Halbleiterzonen (314-364) ausgehend von der ersten Halbleiterzone (10) in Richtung der zweiten Halbleiterzone verjüngen, während sich die dritten Halbleiterzonen (313-363) entsprechend verbreitern.

15

21. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 14 bis 20, bei dem die Dotierung in den einzelnen dritten Halbleiterzonen (313-363) und den einzelnen vierten Halbleiterzonen (314-364) wenigstens annäherungsweise homogen ist.

20

22. Halbleiterbauelement, das folgende Merkmale aufweist:

- eine erste Halbleiterzone (10) eines ersten Leistungstyps,
- eine zweite Halbleiterzone (20) eines zweiten Leistungstyps,

25

- eine zwischen der ersten Halbleiterzone (10) und der zweiten Halbleiterzone (20) angeordnete Driftzone (70) des zweiten Leistungstyps, die in einer Stromflussrichtung einen Stromfluss von der ersten Halbleiterzone (10) zu der zweiten Halbleiterzone (20) ermöglicht,

30

35 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s

wenigstens in einem Abschnitt (71) der Driftzone (70) die Dotierungskonzentration von Dotierstoffatomen des zweiten Leitungstyps in einer Richtung (V) senkrecht zu der Stromflussrichtung (S) variiert.

5

23. Halbleiterbauelement nach Anspruch 22, bei dem die Dotierung des wenigstens einen Abschnitts ausgehend von einem in Stromflussrichtung (S) verlaufenden Randbereich des stromdurchflossenen Abschnitts (71) senkrecht zur Stromflussrichtung (S) zunimmt.

10

24. Halbleiterbauelement nach Anspruch 23, bei dem die Stromflussrichtung parallel zu einer Vorderseite (101) eines Halbleiterkörpers (100) verläuft, in dem die erste Halbleiterzone (10), die zweite Halbleiterzone (20) und die Driftzone (70) ausgebildet sind, wobei die Dotierung der Driftzone mit Dotierstoffatomen des zweiten Leistungstyps ausgehend von der Vorderseite (101) senkrecht zur Stromflussrichtung (S) zunimmt

15

Zusammenfassung

Halbleiterbauelement mit erhöhter Spannungsfestigkeit
und/oder verringertem Einschaltwiderstand

5

Die Erfindung betrifft ein Halbleiterbauelement mit einer
ersten Halbleiterzone (10) eines ersten Leitungstyps, einer
zweiten Halbleiterzone (20) eines zweiten Leitungstyps und
einer zwischen der ersten und zweiten Halbleiterzone (10, 20)
10 angeordneten Driftzone (30), die wenigstens zwei komplementär
zueinander dotierte Halbleiterzonen (31, 33, 35, 32, 34, 36)
aufweist, wobei der Kompensationsgrad wenigstens in einem Ab-
schnitt der Driftzone (30) in einer Richtung senkrecht zu ei-
ner Stromflussrichtung (S), die zwischen der ersten und zwei-
15 ten Halbleiterzone (10, 20) verläuft, variiert.

Fig. 1

101

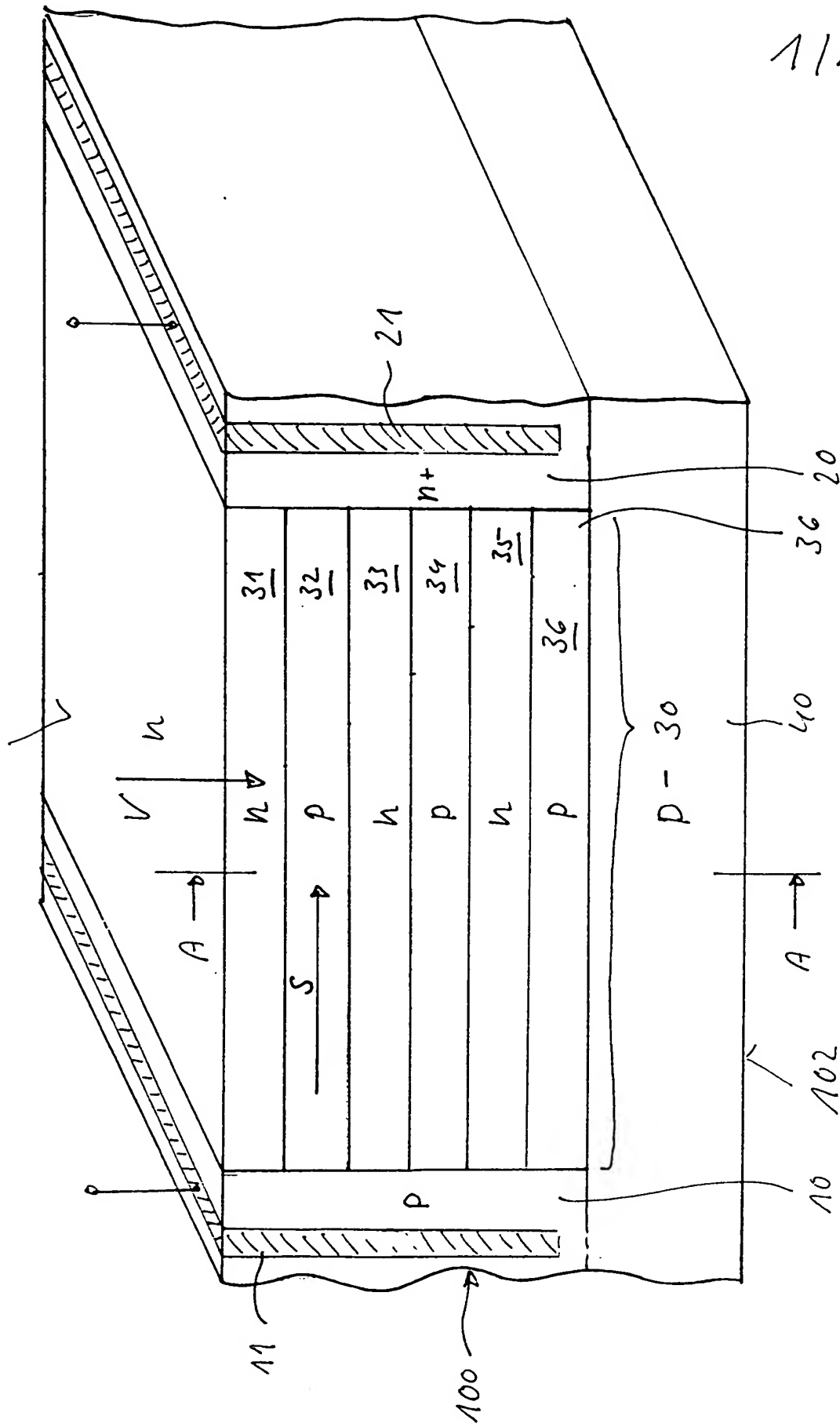


FIG. 1

A-A

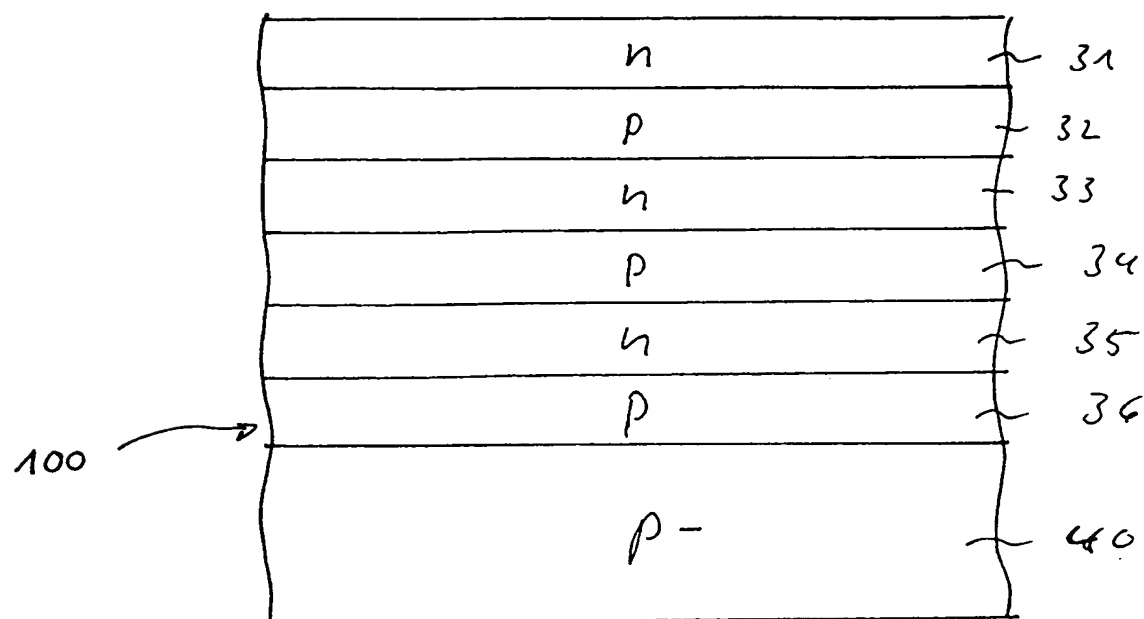


FIG 2

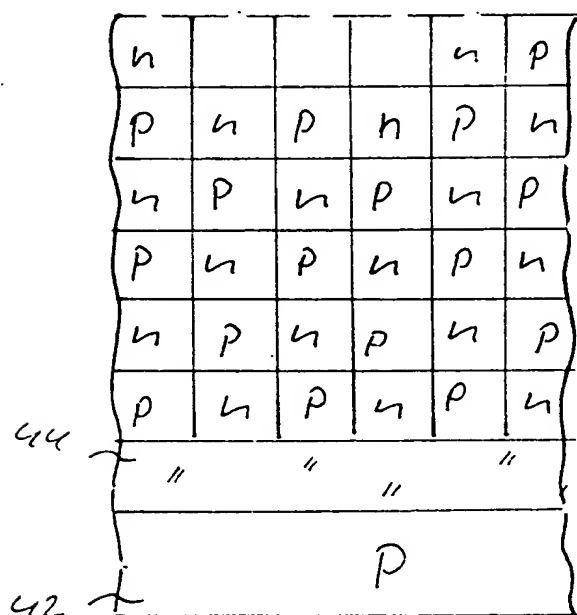


FIG 3

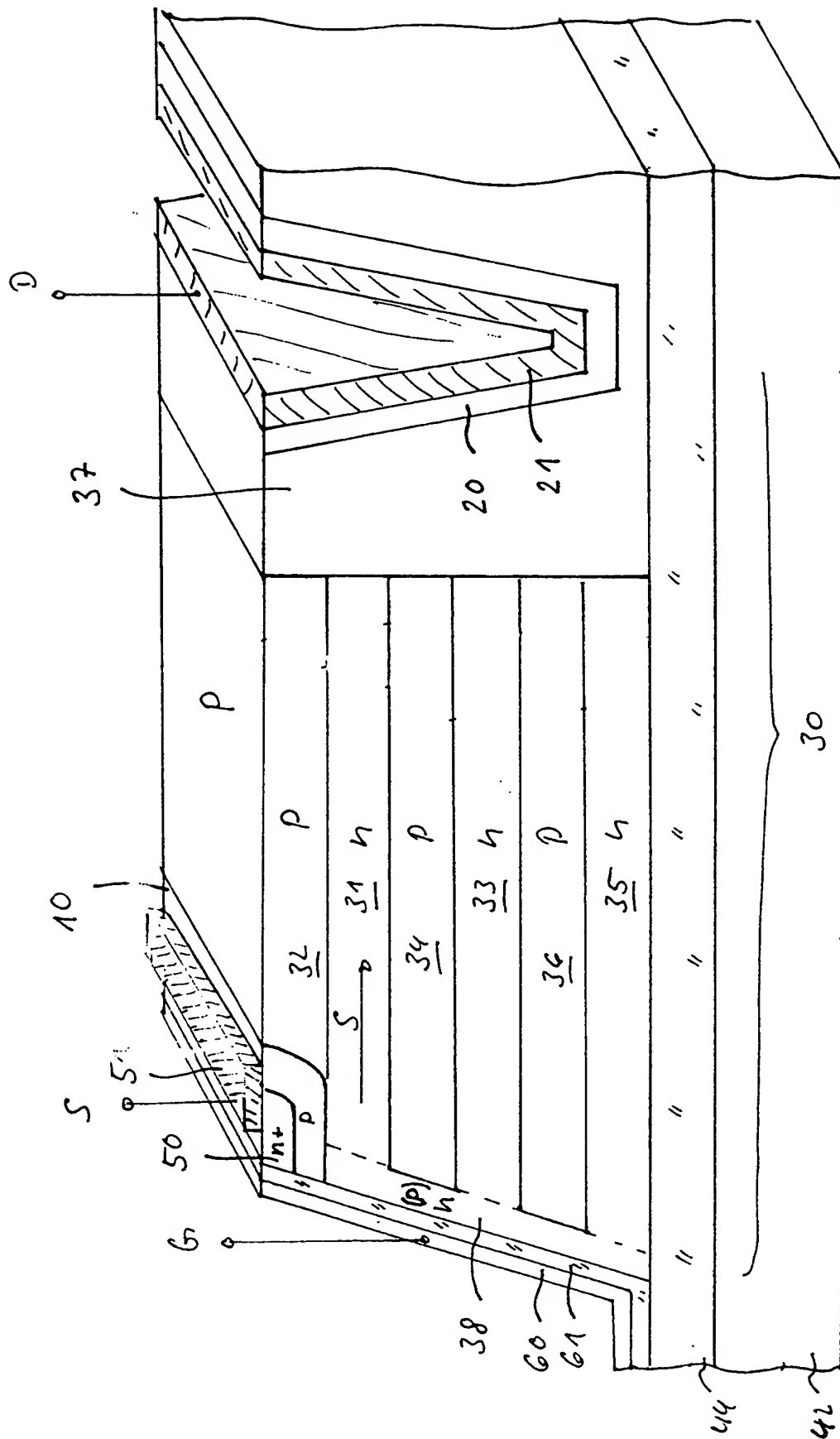


FIG 4

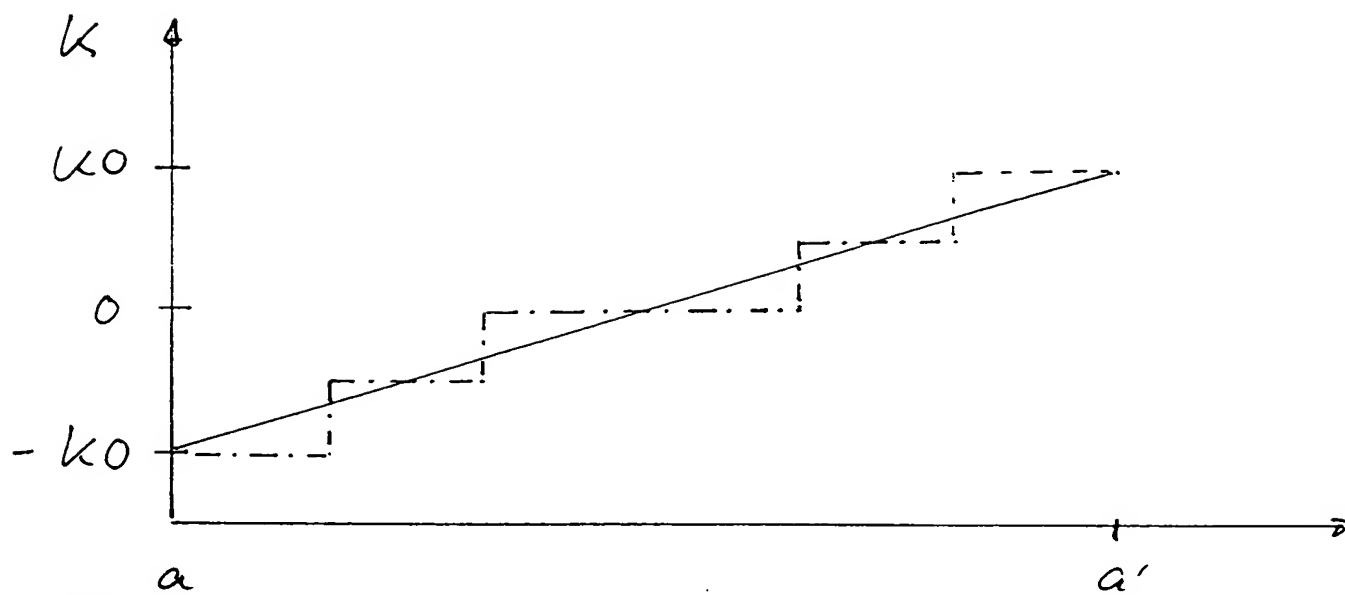


FIG 5B

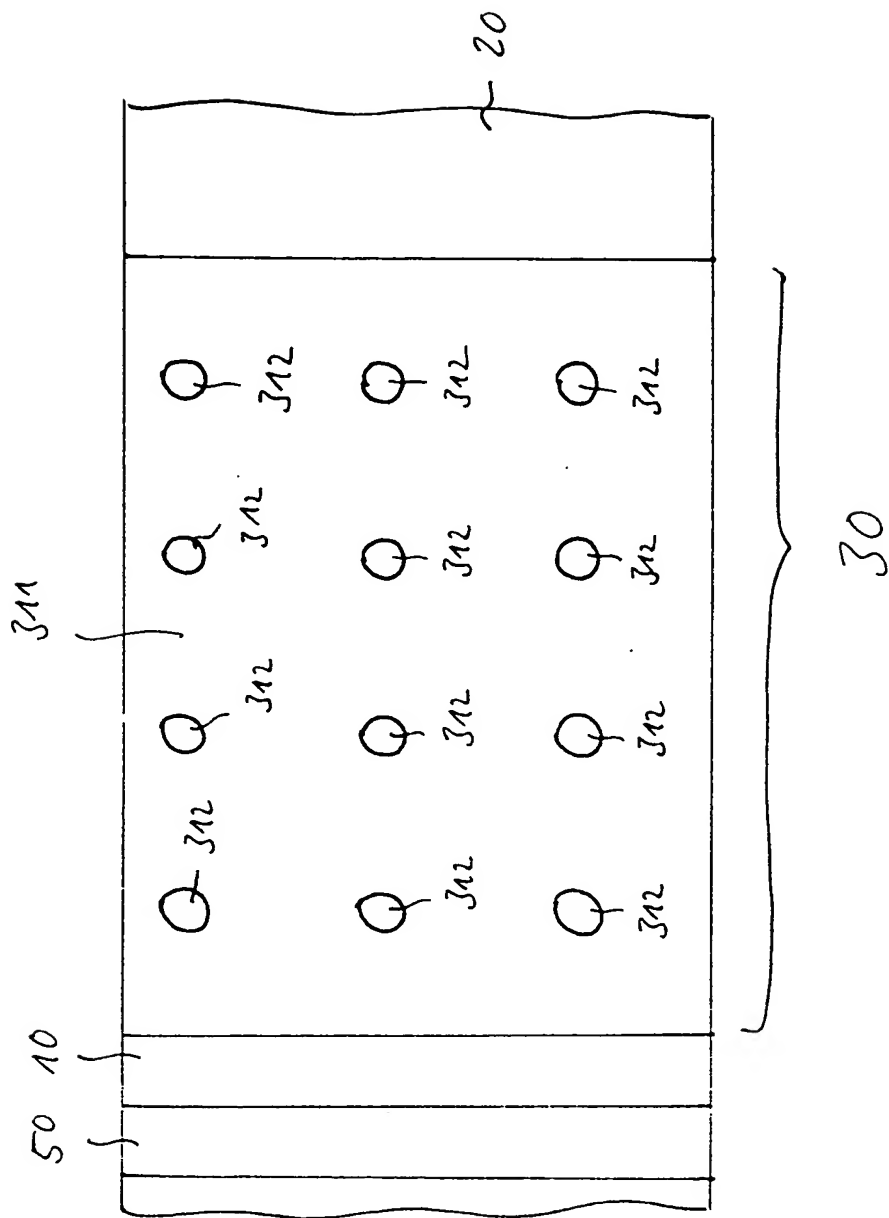


FIG 6

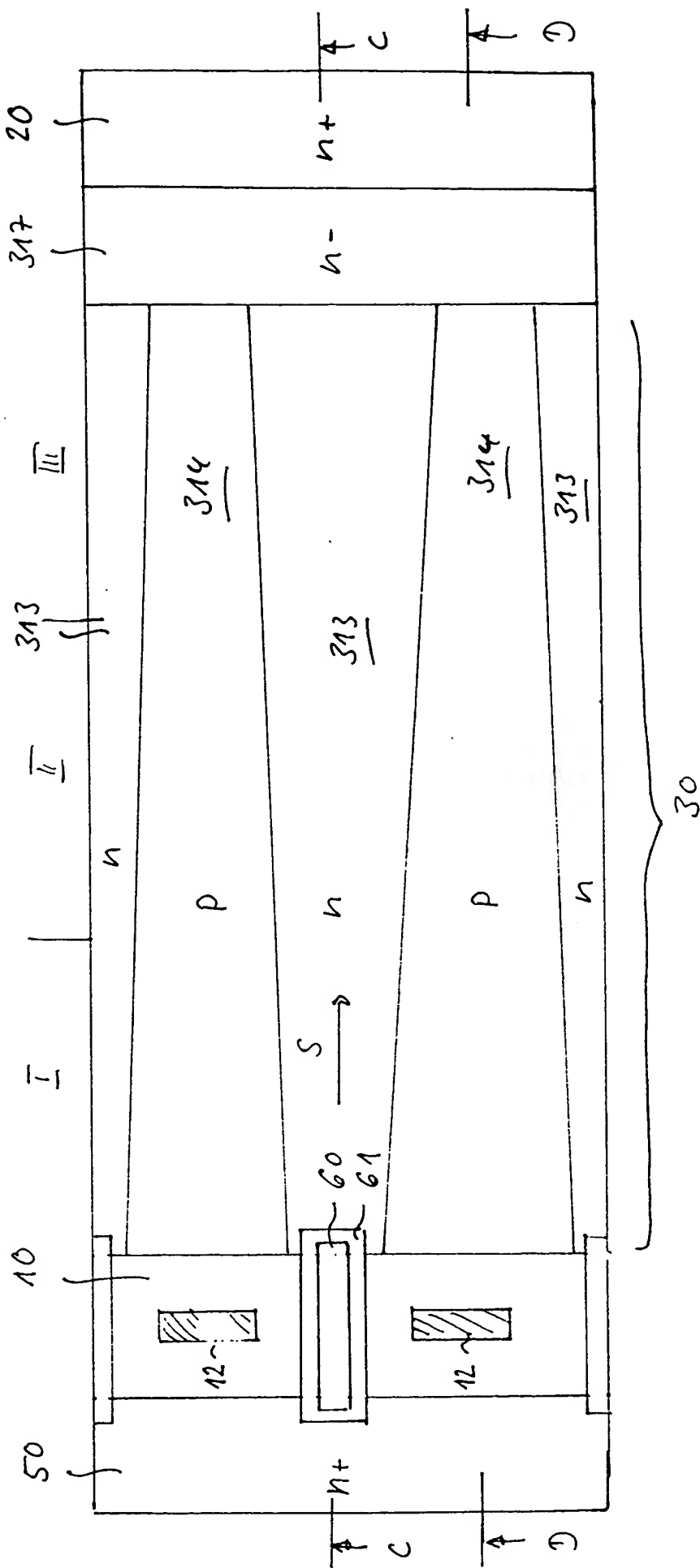


FIG 7

07110

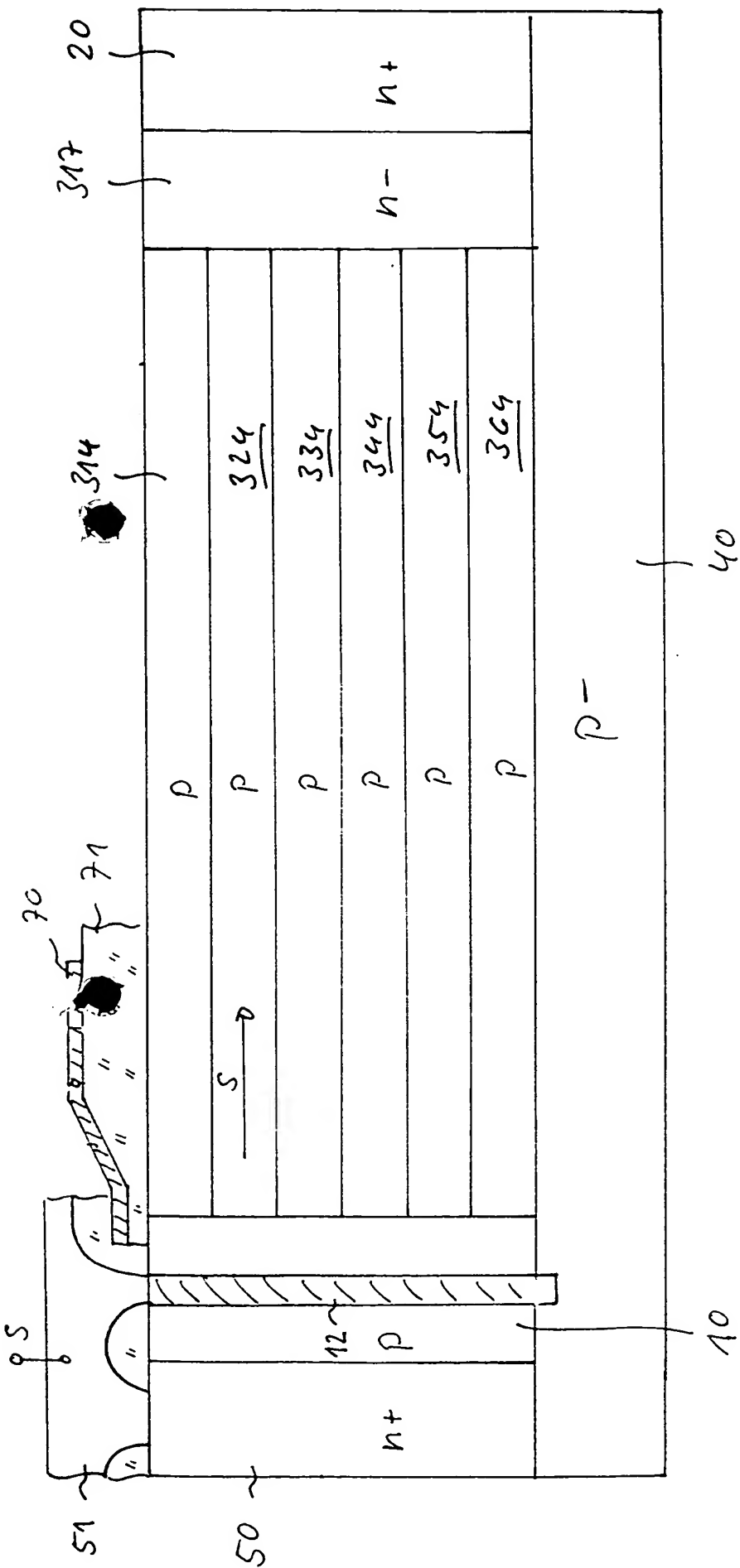


FIG. 9

